

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики

Направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Проектирование и разработка программного приложения для составления расписания и графиков движения городского общественного транспорта

УДК 004.942

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ4Г	Пилецкая А.Ю.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АИКС	Кочегурова Е.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЭН	Конотопский В.Ю.	к.э.м.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Антоневич О. А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АИКС	Фадеев А.С.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	Общепрофессиональные компетенции
P1	Воспринимать и самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.
P2	Владеть и применять методы и средства получения, хранения, переработки и трансляции информации посредством современных компьютерных технологий, в том числе в глобальных компьютерных сетях.
P3	Демонстрировать культуру мышления, способность выстраивать логику рассуждений и высказываний, основанных на интерпретации данных, интегрированных из разных областей науки и техники, выносить суждения на основании неполных данных, анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.
P4	Анализировать и оценивать уровни своих компетенций в сочетании со способностью и готовностью к саморегулированию дальнейшего образования и профессиональной мобильности. Владеть, по крайней мере, одним из иностранных языков на уровне социального и профессионального общения, применять специальную лексику и профессиональную терминологию языка.
	Профессиональные компетенции
P5	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P7	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения.
	Общекультурные компетенции
P8	Использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских, проектных работ и профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, в управлении коллективом.
P9	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P10	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, способность к педагогической деятельности.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики

Направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Фадеев А.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ВМ4Г	Пилецкой Анастасии Юрьевне

Тема работы:

Проектирование и разработка программного приложения для составления расписания и графиков движения городского общественного транспорта

Утверждена приказом директора (дата, номер)

04.02.2016, № 701/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1. Существующие алгоритмы теории расписания;
2. Существующие программные комплексы для составления расписания движения городского общественного транспорта, например, PTV VISUM;
3. Существующие данные о пассажиропотоке и графике следования транспортных средств;

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рассмотреть существующие алгоритмы теории расписания: одноприборная задача теории расписания, 2. Провести анализ данных о пассажиропотоке и существующем интервале движения; 3. Спроектировать архитектуру программного приложения; 4. Выбрать способ реализации программного приложения;
<p>Перечень графического материала</p>	<p>19 слайдов в формате .pptx</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич, к. э. н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич Ольга Алексеевна, к. б. н.</p>
<p>Schedule design for urban public transport: methods and tools review</p>	<p>Сидоренко Татьяна Валерьевна, к.п.н.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Обзор методов и средств проектирования расписания движения ГПТ</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>30.12.2015</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кочегурова Елена Алексеевна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ4Г	Пилецкая Анастасия Юрьевна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики

Направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Уровень образования магистратура

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.03.2016 г.	Обзор методов и средств проектирования расписания движения ГПТ	10
31.03.2016 г.	Объект и методы исследование	10
27.04.2016 г.	Теоретический анализ	15
10.05.2016 г.	Описание реализации	15
27.05.2016 г.	Анализ результатов	10
11.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
18.05.2016 г.	Социальная ответственность	15
27.05.2016 г.	Обязательное приложение на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АИКС	Кочегурова Е.А.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АИКС	Фадеев А. С.	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ВМ4Г	Пилецкая Анастасия Юрьевна

Институт	ИК	Кафедра	АИКС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Зарботная плата доцента – 23264,86Р; 2. Зарботная плата инженера - 7 864,11Р; 3. Стоимость 1 квт/ч для ТПУ – 5,257Р; 4. Стоимость оборудования - 61000Р.
5. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. 8-часовой рабочий день; 2. 6-дневная рабочая неделя; 3. Годовая норма амортизации – 33%
6. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Единый социальный налог (ЕСН) – 30%; 2. Налог на добавленную стоимость (НДС) – 18%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Организация и планирование работ	1. Продолжительность этапов работ; 2. Расчет накопления готовности проекта.
3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	1. Расчеты затрат на материалы, заработную плату (с учетом налоговых и социальных отчислений); 2. Расчеты амортизации и прочих расходов; 3. Расчет себестоимости и цены проекта, а также предполагаемой прибыли от реализации проекта.
4. Оценка экономической эффективности проекта	1. Определение типов эффекта; 2. Определение форм, которые может принимать экономический эффект.
3. Оценка научно-технического уровня НИР	Экспертная оценка параметров научно- технического эффекта разработки и расчет интегрального показателя научно-технического уровня разработки

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Линейный график работ (диаграмма Ганта)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.10.2015
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЭН	В.Ю. Конотопский	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ4Г	Пилецкая Анастасия Юрьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8BM4Г	Пилецкая Анастасия Юрьевна

Институт	ИК	Кафедра	АИКС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Программное приложение для проектирования расписаний движения городского пассажирского транспорта предполагается использовать в организациях, занимающихся контролем за транспортом.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования; 1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований; 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	Опасные и вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • повышенный уровень электромагнитных излучений; • повышенный уровень статического электричества; • статические физические нагрузки; • перенапряжение зрительных анализаторов; • повышенный уровень шума; • недостаточная освещенность рабочей зоны; • неблагоприятный климат; • опасность возникновения пожара; • опасность поражения электрическим током. Мероприятия по защите включают в себя использование индивидуальных и коллективных средств защиты, а также соблюдение режима работы и физкультурные минутки.
2. Экологическая безопасность: 2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду; 2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду; 2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	Объекты, несущие угрозу окружающей среде: <ul style="list-style-type: none"> • аккумуляторы; • люминесцентные лампы. Необходимо обеспечить утилизацию объектов в специальных организациях.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования; 3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований;	ЧС, которые могут возникнуть в процессе разработки и эксплуатации: <ul style="list-style-type: none"> • пожары и взрывы в зданиях и на коммуникациях. Требуется следовать инструкциям, чтобы не допустить возникновения ЧС. Однако, если ЧС произошло, требуется вызвать

3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.	соответствующие службы для ликвидации последствий ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 4.1. Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Описание правил компоновки рабочего места с учетом специфики работы исполнителя проекта и пользователя программного продукта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.03.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	О. А. Антонец	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ4Г	А.Ю. Пилецкая		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 130 с., 35 рис., 18 табл., 45 источников, 4 прил.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, автобус, маршрут, оптимизация, одноприборная задача, теория расписаний, алгоритм муравьиных колоний

Объектом исследования является методика построения расписания движения ГПТ г. Томска.

Цель работы – спроектировать и разработать программное приложение для составления расписания движения городского пассажирского транспорта.

В процессе исследования проводились анализ методов теории расписаний, методов конечномерной оптимизации, а также анализ способов решения задач оптимизации движения ГПТ.

В результате исследования получено программное приложение для проектирования расписания движения пассажирского транспорта на ключевом участке.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ОС Windows, .Net Framework 4.5.

Степень внедрения: программное приложение находится на стадии тестирования.

Область применения: организации, занимающиеся управлением процессом пассажирских перевозок.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в повышении эффективности работы специалиста по составлению расписаний ГПТ.

В будущем планируется усовершенствовать математический аппарат, заложенный в основу программного приложения; добавить реализацию нового математического аппарата в существующую систему.

Определения, обозначения, сокращения

В настоящей работе используются следующие сокращения:

ВКР – выпускная квалификационная работа;

ГПТ – городской пассажирский транспорт;

ТС – транспортное средство;

ПО – программное обеспечение;

ПП – программное приложение; программный продукт.

БД – база данных;

СУБД – система управления базами данных.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

ГЛОНАСС: российская спутниковая система навигации.

Оглавление

Введение		15
1	Обзор методов и средств проектирования расписания движения ГПТ	17
1.1	Методы и алгоритмы построения расписания движения ГПТ	18
1.2	Программные средства проектирования расписания движения ГПТ	29
2	Объекты и методы исследования	33
3	Расчет и аналитика	36
3.1	Задача составления расписания движения для одного ТС	36
3.2	Задача составления расписания для всех ТС на одном маршруте	39
3.3	Задача составления расписания для всех пассажирских ТС города на всех маршрутах	42
3.4	Методика, реализованная в ПП	49
4	Описание программной разработки	51
4.1	Проектирование ПП	51
4.2	Разработка ПП	57
4.3	Результаты	62
4.4	Перспективы развития	66
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	67
5.1	Организация и планирование работ	67
5.1.1	Продолжительность этапов работ	68
5.1.2	Расчет накопления готовности проекта	73
5.2	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	74
5.2.1	Расчет заработной платы	75
5.2.2	Расчет затрат на социальный налог	75
5.2.3	Расчет затрат на электроэнергию	76
5.2.4	Расчет амортизационных расходов	77

5.2.5	Расчет прочих расходов	78
5.2.6	Расчет общей себестоимости разработки	78
5.2.7	Расчет прибыли	78
5.2.8	Расчет НДС	79
5.2.9	Оценка разработки НИР	79
5.3	Оценка экономической эффективности проекта	79
5.4	Оценка научно-технического уровня НИР	81
6	Социальная ответственность	83
	Введение	83
6.1	Производственная безопасность	83
6.1.1	Повышенный уровень электромагнитных излучений	84
6.1.2	Повышенный уровень статического электричества	85
6.1.3	Статические физические перегрузки	86
6.1.4	Перенапряжение зрительных анализаторов	88
6.1.5	Повышенный уровень шума	89
6.1.6	Недостаточная освещенность рабочей зоны	90
6.1.7	Неблагоприятный микроклимат	92
6.1.8	Опасность возникновения пожара	93
6.1.9	Опасность поражения электрическим током	94
6.2	Экологическая безопасность	95
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	98
6.4.1	Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны	98
	Заключение	100
	Conclusion	101
	Список публикаций студента	102

Список использованных источников	103
Приложение А	110
Приложение Б	111
Приложение В	114
Приложение Г	116
1 Schedule design for urban and public transport: methods and tools review	117
1.1 Methods and algorithms for developing schedules for an urban public transport	118
1.2 Design schedule software for the urban public transport	128

Введение

Процесс жизнедеятельности любого города во многом зависит от состояния транспортной системы в нем. Правильное функционирование транспортной системы является одной из важнейших составляющих экономического благополучия города. Непосредственно управляемой и предсказуемой частью транспортной системы является ГПТ.

В рамках данной ВКР рассматривается транспортная система и, в частности, ГПТ г. Томска. В г. Томске существует несколько проблем с организацией пассажироперевозок, а именно наличие 2-3 наиболее загруженных улиц, которые, при этом, являются узкими (2 или 4 полосы). В часы пик на этих участках дороги образуются пробки.

Задачей оптимизации работы ГПТ г. Томска занимаются многие ученые города. В рамках города наиболее вовлечены в данную проблему ученые НИ ТГАСУ [1]. Работы ведутся в разных направлениях: оптимизация маршрутов следования, прокладывание новых маршрутов, выработка методик составления расписания движения ГПТ. Совместно с администрацией города исследователи проводят проверки с целью оценить уровень пассажиропотока, степень соблюдения существующего расписания, результаты которых потом используются в проводимых исследованиях.

В других городах России и зарубежья также существуют проблемы оптимизации движения ГПТ. Ученые из технических ВУЗов России решают проблемы создания моделей транспортных систем, а также предлагают методы для их решения. Свои исследования авторы методик использовали в качестве основы для различного рода ПО, которые так или иначе призваны упростить процедуру составления расписания [3, 4, 5].

Помимо научных и учебных учреждений проблемами транспорта в городах занимаются коммерческие организации, такие как, например, «А+S» [2]. В основном они предлагают услуги по созданию транспортных моделей городов, и далее изучают полученную модель в зависимости от цели исследования. Для

этого они используют ПО (например, *PTV Visum* [6]), разработанное специально для изучения процесса пассажироперевозок.

Так же задачами моделирования и анализа транспортных потоков занимаются ученые развитых стран (Китай, Япония, страны Европы, США). Ввиду высокой плотности населения вопросы перевозки пассажиров в этих странах являются очень важными. В своих работах авторы исследуют различные критерии оптимизации, в том числе и социокультурные.

В рамках данной ВКР была поставлена задача разработать методику проектирования расписания движения ГПТ г. Томска и реализовать её в виде ПП.

Требуется рассмотреть условия, в которых пребывает транспортная сеть в разные моменты времени, и учесть выявленные условия при разработке методики.

Так как задача составления расписания движения ГПТ является нетривиальной, то для упрощения процесса разработки методики решения данной задачи требуется декомпозировать её на более мелкие подзадачи.

ГПТ включает в себя маршруты следования троллейбусов, трамваев и маршрутных такси, а также непосредственно ТС (автобусы, троллейбусы и трамваи). Ввиду небольшого количества маршрутов следования трамваев и троллейбусов ТС таких типов рассматриваться не будут.

В рамках данной ВКР внимание уделяется только маршрутным такси, т.к. они являются самым распространенным видом общественного транспорта в г. Томске, при этом наблюдается недостаток в слаженности работы ТС как внутри одного маршрута, так и в рамках нескольких маршрутов.

1 Обзор методов и средств проектирования расписания движения ГПТ

Транспортная система любого города является основополагающей частью благополучия проживающих в городе граждан. Помимо перевозок грузов и людей, транспортная система предоставляет рабочие места, что так же влияет на экономику города.

Таким образом транспортная сеть включает в себя не только сеть автодорог, но и перевозчиков, предоставляющих ТС для перевозки пассажиров, а также контролирующие органы и муниципальная власть. Помимо вышеперечисленного членами транспортной системы являются владельцы личных автомобилей.

Однако, из всех вышеперечисленных участников транспортной системы право вносить изменения в процесс обеспечения населения транспортными услугами имеют только органы власти, т.к. остальные участники системы не обладают соответствующими правами и инструментами.

На органы управления и контроля возложены следующие задачи:

- 1) Контроль работы пассажирского транспорта;
- 2) Информирование населения о работе ГПТ;
- 3) Прием жалоб от населения;
- 4) Оборудование ТС пассажирского транспорта системами ГЛОНАСС;
- 5) Интеграция всего пассажирского транспорта в единую навигационную информационную автоматизированную систему на базе ГЛОНАСС;
- 6) Проведение научных и статистических исследований [7].

Рассматриваемая в данной ВКР задача составления расписания также входит в сферу деятельности органов управления и контроля. На основе научных и статистических исследований разрабатываются математические инструменты (методы и алгоритмы), которые впоследствии реализуются в виде ПО и интегрируются в единую информационную систему.

Таким образом, задачу проектирования и разработки ПП для составления расписания движения ГПТ можно разделить на 2 подзадачи – задача разработки математического инструмента (метода, алгоритма) и его практическая реализация.

Далее рассматриваются подходы к решению вышеупомянутых подзадач.

1.1 Методы и алгоритмы построения расписания движения ГПТ

Подходы к проектированию расписания движения ГПТ можно разделить на 2 категории:

- 1) методы, учитывающие множество внешних и внутренних факторов, влияющих на систему;
- 2) методы, избирательно учитывающие факторы, влияющие на систему.

Применение методов, учитывающих множество внешних и внутренних факторов, наблюдается в серьезных научных трудах, таких, как диссертации. Так, в кандидатской диссертации Кригер Л. С. выделяет следующие параметры в качестве критериев эффективности процесса перевозки пассажиров:

- равномерность интервала движения пассажирского транспорта;
- среднее расстояния перевозки;
- нулевой пробег ТС;
- минимальное время на передвижение пассажира;
- минимальное значение транспортного утомления, заключающее в себе время в пути в сочетании с наполняемостью ТС.

Также выделяются экономические показатели, такие как прибыль, часовая прибыль, производительность, затраты на перевозку, себестоимость.

Помимо этого автор отмечает важность социально-экономических параметров транспортной сети. В доказательство важности этих параметров автор приводит ссылки на работы других ученых, внимание которых также было уделено социально-экономическим факторам [3].

В магистерской диссертации Юрченко М.А. также отмечается важность учета множества факторов при составлении расписания движения. К перечисленным в работе Кригер Л.С. факторам Юрченко М.А. добавляет также требования к соблюдению режима и условий труда водителей и кондукторов.

Также Юрченко М.А. отмечает, что наличие таких факторов, как пассажиропоток, нормо-часы рейсов в зависимости от дорожной ситуации и времени суток, количество подвижного состава на маршруте в соответствии с особенностями режимов труда и отдыха диктуют наличие нескольких вариантов расписаний [4].

Далее рассматриваются работы, учитывающие небольшое количество влияющих на расписание факторов.

Так, в кандидатской диссертации [5] Тан Шейн предлагается рассматривать две взаимодействующие стороны процесса перевозок – перевозчиков и пассажиров. При этом, при доминировании потребностей перевозчиков в качестве оптимизационного параметра предлагается использовать эффективную вместимость ТС, которая определяется вместимостью ТС и уровнем заполняемости ТС.

При доминировании потребностей пассажиров автор предлагает оптимизировать среднее время ожидания ТС, которое также зависит от уровня заполняемости ТС.

Как отмечается автором, оптимизация данных параметров независимо друг от друга невозможна, т.к. они являются противоречивыми. Следовательно, требуется получить такое расписание, которое являлось бы компромиссом для всех взаимодействующих сторон. Подобные выводы наблюдаются и в работах других авторов [5].

В статье авторов Морозова А.С., Таубкина Г.В. и Черникова А.А. отмечается высокая значимость грамотно составленного расписания для функционирования транспортной сети города. В своей работе они отмечают факторы, которые влияют на составления расписания, а именно:

- спрос на транспортное обслуживание определяет интервалы движения по периодам суток;
- требования к межмаршрутной координации определяют пассажирские расписания;
- дорожная ситуация как основа времён пробегов по периодам суток и требования КЗОТ влияют на графики выхода подвижного состава.

Далее авторы уточняют, что для эффективного функционирования системы ГПТ необходимо верно выбирать время пробега от начальной до конечной остановки. Авторы отмечают, что зачастую именно неверно выбранное время пробега вызывает несоблюдение расписания движения ТС. Предлагается выбирать оптимальным такое время пробега, за которое определенный процент ТС проедет по маршруту.

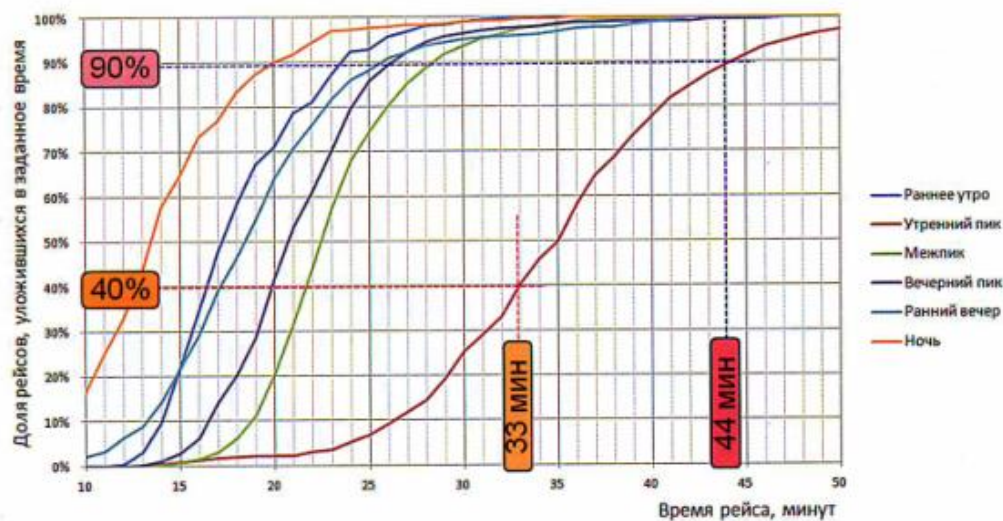


Рисунок 1 - Статистика затрат времени на рейсы автобусов по будним дням за 2 месяца по периодам суток

Как видно из графика, 40% ТС успевают преодолеть маршрут за 33 мин, тогда как 90% успевают преодолеть маршрут за 44 мин. Установление времени пробега равное 44 мин. приведет к тому, что почти половина от всех ТС (40 %) пройдет маршрут на 11 мин. быстрее заложенной продолжительности и вызовет простой ТС. Тогда как выбор 33 мин. в качестве продолжительности движения по маршруту приведет к тому, что больше половины ТС (60%) будут опаздывать к выходу на следующий рейс [8].

В статье [9] автор Горохова Е.С. так же выделяет ключевые для пассажиров и перевозчиков факторы. Согласно автору, пассажирам важно минимизировать время перемещения от одной остановки до другой, тогда как перевозчикам важно минимизировать количество ТС на маршруте, при этом обеспечить наибольший объем перевозок.

Также Горохова Е.С. отмечает, как и Юрченко М.А., что вариантов расписаний должно быть несколько в зависимости от времен года, времен суток, а также от типов дней – будничных, выходной или праздничный [9].

Большой интерес представляет статья авторов Xianghao Shen, Shumin Feng, Zhenning Li и Baoyu Hu под названием «Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in vehicle time». В данной статье авторы отмечают, что при составлении расписания следует учитывать такие два фактора, как комфорт и время в ТС.

Для того, чтобы оценить комфортность нахождения в ТС, авторы предлагают проводить опросы пассажиров. В своих опросах авторы просили оценить комфортность в баллах от 1 до 9. Так же авторы оценивали наполненность ТС как отношение находящихся в ТС пассажиров к вместимости ТС. Для получения данных использовались специальные пассажиры-контролёры, которые совершили 2 поездки в утренний час-пик и 2 поездки в полуденные часы спада спроса; каждая поездка заняла 25-40 мин.

Далее авторы вводят параметр, называемый *a bus line's average bus comfort value in a certain period (CP)* (среднее значение показателя комфортности для маршрута в определенный период времени).

В результате анализа значений вышеуказанного параметра авторы выяснили, что если перевозчик хочет сохранить уровень комфорта на уровне «немного некомфортно», то уровень наполненности ТС должен быть 0,7. Этот же уровень комфортности при 40 мин., проведенных в ТС, потребует коэффициент наполненности ТС не более 0,36. Зависимость параметра *CP* от наполненности ТС и времени в ТС изображена на рисунке 2 [10].

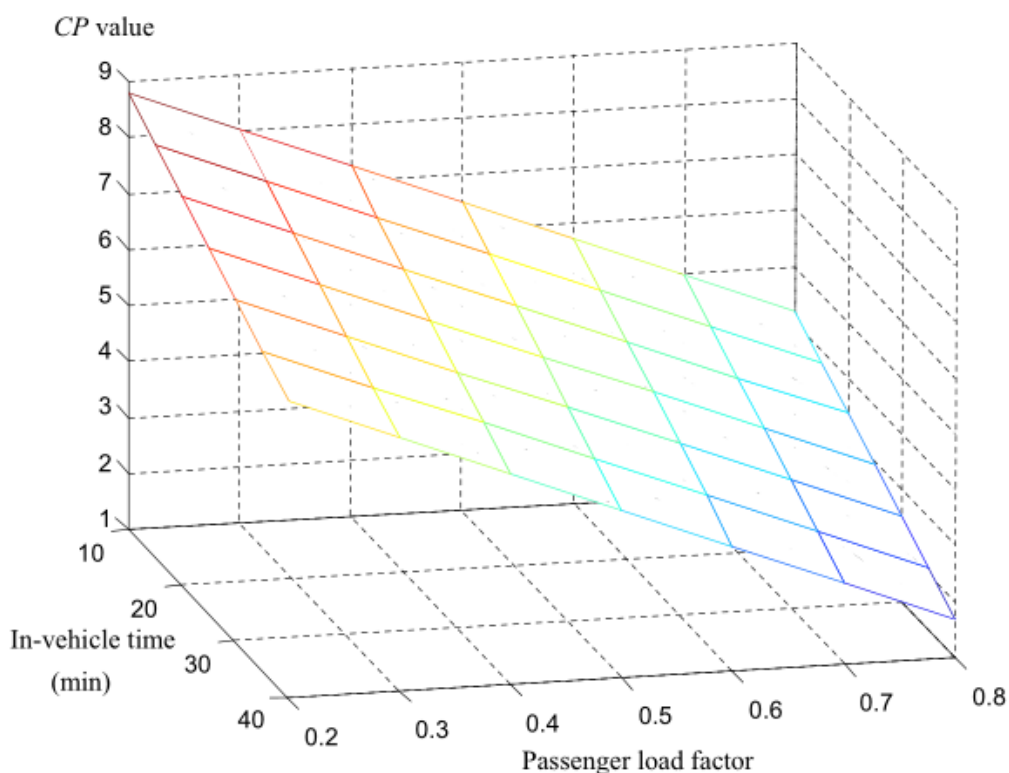


Рисунок 2 - График зависимости восприятия поездки пассажиром от наполненности ТС и времени, проведенного в ТС

Далее перейдем к методам, которые предлагают авторы для составления расписания движения ГПТ.

Общие для теории расписаний методы описываются в учебном пособии Лазарева А.А. и Гафарова Е.Р. [11]:

- эвристические (задача коммивояжера, задача о ранце);
- метаэвристические алгоритмы (генетические алгоритмы, метод имитации отжига, метод муравьиных колоний);
- методы динамического программирования (принцип оптимальности Беллмана);
- графический метод;
- метод ветвей и границ.

В своей работе [3] Кригер Л.С. использует два критерия оптимальности – экономический критерий, отражающий затраты перевозчика на перевозку пассажиров; социальный критерий, который показывает степень удовлетворенность поездкой.

Экономический критерий рассчитывается путем суммирования затрат на горюче-смазочные материалы; плановые технические осмотры и ремонт; ремонт и восстановление шин; амортизацию; заработную плату водителей; накладные расходы.

Социальный критерий учитывает в себе следующие параметры:

- время ожидания ТС – переменная, на которую оказывает влияние параметры «Состояние препятствий на маршруте» и «Количество единиц ТС»;
- время перемещения до заданной точки – переменная, на которую оказывает влияние параметры «Состояние препятствий на маршруте» и «Скорость движения ТС»;
- наличие свободных мест – переменная, на которую оказывает влияние параметры «Количество единиц ТС» и «Величина пассажиропотока» и др.

Большая часть используемых показателей может быть численно оценена, тогда как, например, состояние препятствий на маршруте поддается только качественной оценке. Поэтому в работе применяется алгоритм нечеткого вывода Мамдани [12].

Алгоритм состоит из нескольких шагов: формирования продукционных правил вида «Если А, то В»; фаззификации входных переменных; агрегировании частей условий продукций; активизации частей заключений правил; аккумуляции частей заключений; дефаззификации. Графически алгоритм представлен на рисунке 3

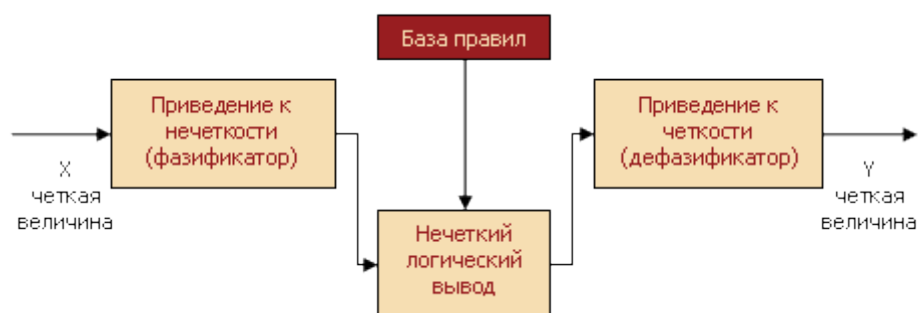


Рисунок 3 - Система нечеткого логического вывода

После вывода двух критериев оптимальности автор вводит ряд ограничений, учитывающих вместимость ТС, начало и окончание рабочего дня, время движения от начальной до конечной остановки и т.д.

Далее автор находит Парето-оптимальное решение, устраняющее противоречие между затратами на перевозку пассажиров и удовлетворенностью пассажира. Затем, имея оптимальный критерий, автор предлагает следующий алгоритм для составления расписания (рисунок 4) [3].

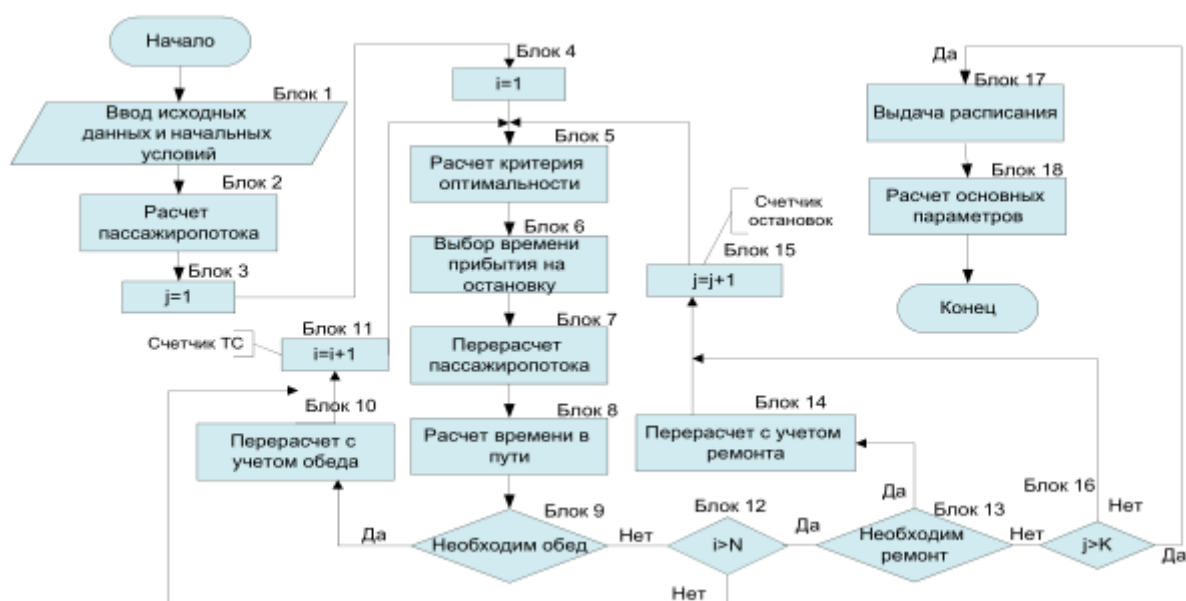


Рисунок 4 - Процедура составления оптимального расписания

Расписание движения ТС в работе Юрченко М.А. [4] можно представить в виде следующего графика (рисунок 5):

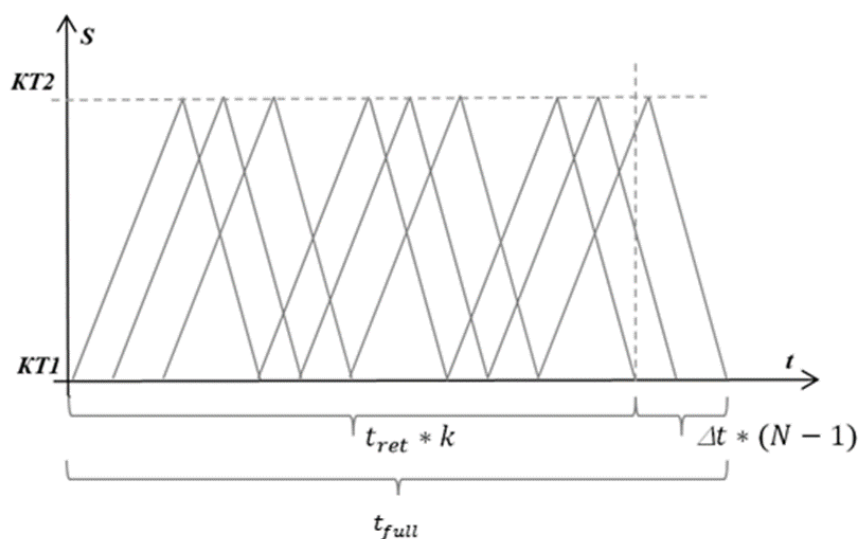


Рисунок 5 - Время работы маршрута с тремя подвижными составами

На графике автор демонстрирует время t_{ret} , которое представляет собой время пробега по маршруту с учетом остановок для сбора и высадки пассажиров, а также время на простои на светофорах и пешеходных переходах.

Автор ставит задачу выбора оптимального интервала выхода ТС Δt и вводит следующие ограничения:

$$\begin{cases} N \rightarrow \min; \\ \Delta t \rightarrow \min; \\ \text{при} \\ t_{full} = t_{ret} \cdot k + \Delta t \cdot (N - 1) \geq const; \\ \Delta t_{\min} \leq \Delta t \leq \Delta t_{\max}. \end{cases}$$

где N – количество подвижного состава, t_{full} – время работы маршрута, k – количество рейсов.

Далее, с помощью расчета эксплуатационных характеристик маршрута (N , k , t_{ret}) автор получает расписание движения ГПТ в следующем виде (рисунок 6) [4]:

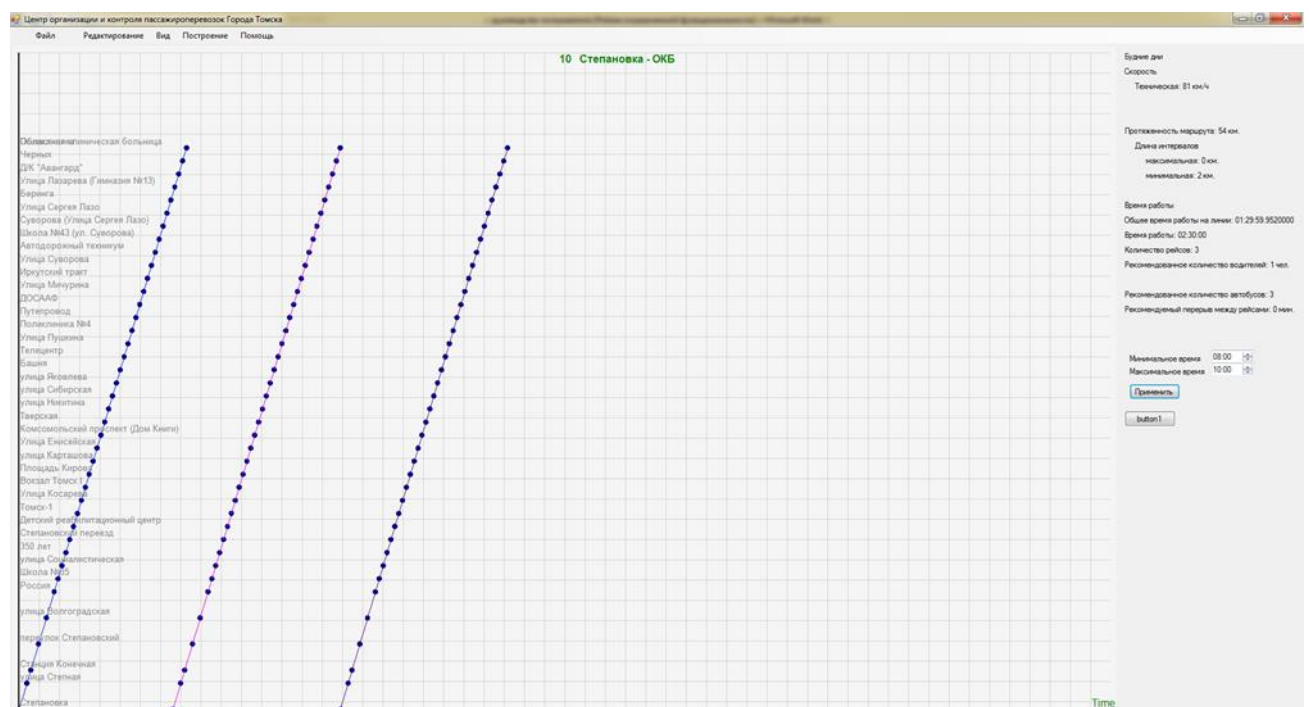


Рисунок 6 - График маршрута

Горохова Е.С. в своей статье [9] предлагает использовать алгоритм муравьиных колоний для составления расписания движения ГПТ. Входными параметрами для алгоритма являются количество единиц подвижного состава на

маршруте, время начала и окончания движения, количество вышедших и вошедших пассажиров на каждой остановке маршрута, вместимость ТС.

Важной составляющей алгоритма является понятие феромона. Феромон откладывается там, где проехал автобус. Выбор величины оставленного феромона опирается на количество пассажиров, которых автобус собрал на остановках. Чем больше людей собрано, тем сильнее след феромона. Феромон имеет свойство испаряться с течением времени.

В зависимости от величины значения феромона для той или иной остановки рассчитывается вероятность выбора того или иного временного интервала перемещения между остановками. Результатом расчета расписания в соответствии с алгоритмом будет временная сетка, в которой для каждого ТС на маршруте будет получено время прибытия на каждую остановку маршрута.

Также в работах [5, 8] отмечается важность мультимаршрутного планирования. Под мультимаршрутным планированием подразумевается составление оптимального расписания с учетом интересов нескольких маршрутов.

В работе [8] авторы предлагают ТС менять маршрут следования в зависимости от положения ТС на транспортной сети, потребностях пассажиров в том или ином маршруте.

Авторами предложена приблизительная схема движения в мультимаршрутном режиме (рисунок 7). Здесь зеленым цветом выделен маршрут №3, синим - №6. Каждый отрезок – это один рейс в одном направлении.

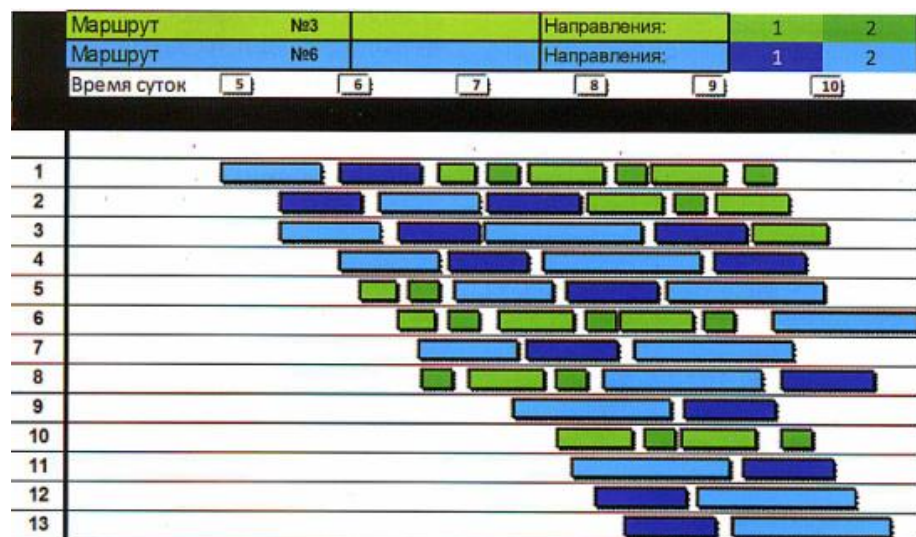


Рисунок 7 - Пример мультимаршрутного планирования для двух маршрутов

Так, первое ТС начинает движение по маршруту №6, выполняет рейс туда и обратно и далее начинает двигаться по маршруту №3.

Здесь отмечаются 2 ключевые цели, которых можно добиться подобным способом:

- равномерные интервалы в коридоре общего следования нескольких маршрутов;
- согласование времени прибытия и отправления между подвозящими и основными маршрутами.

Такой подход позволит улучшить качество обслуживания на общем участке следования. Например, для двух маршрутов при интервале следования 15 мин на каждом маршруте можно обеспечить интервал движения 7,5 мин на общем участке следования [8].

В работе [5] уделяется внимание синхронизации ТС в остановках, которые являются пересадочными пунктами.

На рисунке 8 изображена схема нескольких маршрутов, имеющих общие остановки – пересадочные пункты.

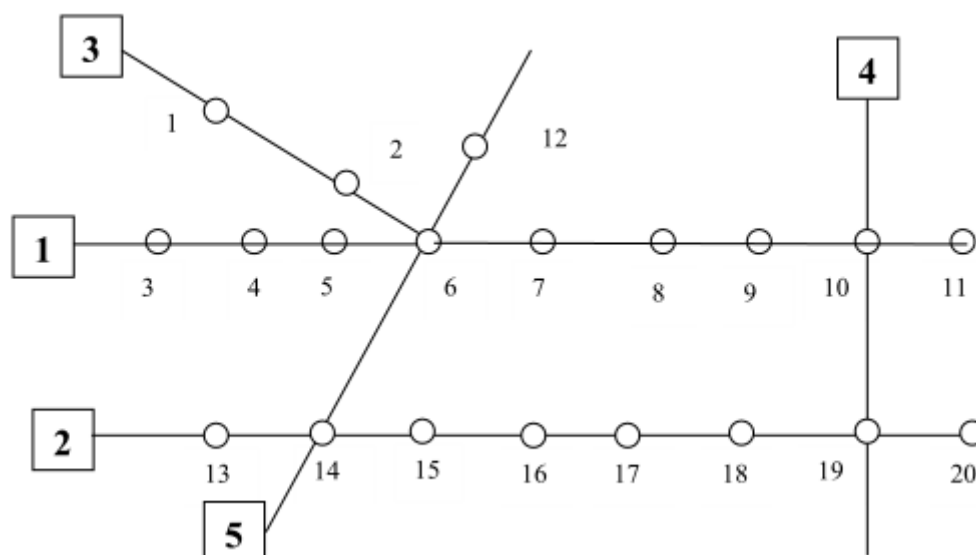


Рисунок 8 - Схема маршрутов в транспортной сети

Наиболее загруженные узлы в представленной транспортной сети – 6, 10, 14, 19. Данные узлы являются своеобразным «бутылочным горлышком». Минимизация задержек в них окажет большое влияние на эффективность всей транспортной системы.

Для учета влияния пересадочных узлов на каждом маршруте используется целевая функция, учитывающая интенсивность потоков пассажиров и мощности перевозчиков на всех смежных маршрутах транспортной сети. Кроме того, функция зависит и от доли пути, который пассажир преодолевает на этом маршруте.

Для оптимизации выбранной целевой функции для всех маршрутов транспортной сети автор использует генетический алгоритм [5].

1.2 Программные средства проектирования расписания движения ГПТ

В данном разделе будут рассмотрены существующие программные средства проектирования расписания движения ГПТ.

Начать рассмотрение следует с ПО, которое было разработано авторами работ [3, 4].

В работе [4] описывается ПО с гибким функционалом. Здесь есть возможность составления расписания для любого маршрута, существующего в системе, а также изменения параметров маршрута, как, например, пассажиропоток и расстояние между остановками. Так же присутствует возможность получить интервалы движения между отдельными группами остановок в заданные периоды суток и типы дней (рисунки 9 - 10).

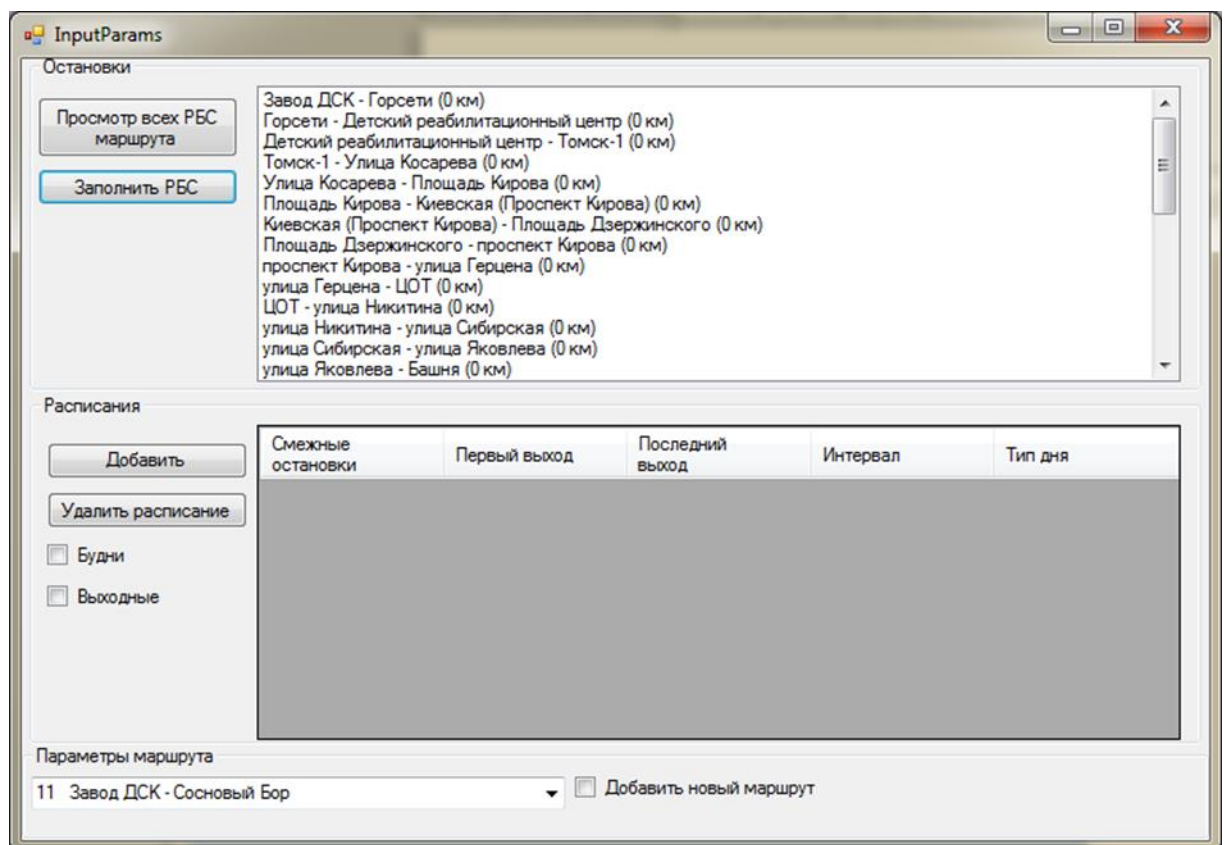


Рисунок 9 - Окно, содержащее маршрут и все его остановки.

Первая остановка	Вторая остановка	Пассажиропоток первой остановки(сутки), чел	Расстояние между остановками, км
Степановка	улица Степная	0	0
улица Степная	Станция Конечная	0	0
Станция Конечная	переулок Степановский	0	0
переулок Степановский	улица Волгоградская	0	0
улица Волгоградская	Россия	0	0
Россия	Школа №35	0	0
Школа №35	улица Социалистическая	0	0
улица Социалистическая	350 лет	0	0
350 лет	Степановский переезд	0	0
Степановский переезд	Детский реабилитационный центр	0	0
Детский реабилитационный центр	Томск-1	0	0
Томск-1	Улица Косарева	0	0
Улица Косарева	Вокзал Томск I	0	0
Вокзал Томск I	Площадь Кирова	0	0
Площадь Кирова	улица Карташова	0	0
улица Карташова	Улица Енисейская	0	0
Улица Енисейская	Комсомольский проспект (Дом К...	0	0
Комсомольский проспект (Дом Книги)	Тверская	0	0
Тверская	улица Никитина	0	0

Рисунок 10 - Окно ввода параметров маршрута

Автор работы [3] разработала интеллектуальную систему поддержки принятия решений (рисунок 11). Здесь, аналогично предыдущему примеру, можно выбрать параметры, которые будут учитываться при построении расписания.

Редактирование расписания

Тип транспорта

троллейбусы

Сезон

зимнее

Тип дня

будни

Маршрут

Маршрут №1 "ТРЗ-Стадион"

Тип расписания

станционное

Дата создания

11.01.2010

Название расписания

Станционное № 1

Статус расписания

проект

- обед

- ремонт

- рабочее

Используется с

11.01.2010

по

03.06.2010

☒ Экономический показатель

Э1

☒ Социальный показатель

С1

Ном. поездки

Вр. выезда из депо парка

Пункт начала движения

А по. отпр.

Б по. отпр.

А по. отпр.

Б по. отпр.

А по. отпр.

Б по. отпр.

А по. отпр.

Б по. отпр.

А по. отпр.

Б по. отпр.

Оконч. пункт

Вр. прибытия в депо

Продолж. раз. в час. итого

оказан. рейсов

1

06:38

ТРЗ

06:35

06:43

07:34

08:21

09:12

10:01

11:27

12:11

19:14

11:19

2

13

2

06:48

ТРЗ

06:44

06:56

07:00

08:21

09:12

10:01

11:33

12:22

11:38

11:24

4

12

3

06:38

ТРЗ

06:48

06:59

07:37

08:25

09:36

10:05

11:33

12:22

19:01

11:23

2

13

4

06:38

ТРЗ

07:00

08:21

09:12

10:01

11:23

12:11

19:01

10:47

2

12

5

07:06

ТРЗ

07:00

08:21

09:12

10:01

11:33

12:22

19:10

10:48

2

12

06:35

06:43

07:34

08:21

09:12

10:01

11:27

12:11

06:44

06:56

07:00

08:21

09:12

10:01

11:33

12:22

06:48

06:59

07:37

08:25

09:36

10:05

11:33

12:22

07:00

08:21

09:12

10:01

11:23

12:11

07:00

08:21

09:12

10:01

11:33

12:22

07:41

08:28

09:30

10:08

10:59

11:49

обед

ремонт

рабочее

Рисунок 11 - Система поддержки принятия решения. Окно редактирования расписания

Здесь можно видеть, что настройке поддаются такие параметры, как тип транспорта, сезон, тип дня. А также можно выбрать, какие критерии (экономический и/или социальный) будут учитываться при составлении расписания [3].

Также существует множество коммерческого ПО для разработки расписаний движения ГПТ. Далее рассматривается одна из них – *VISUM* компании *PTV*.

VISUM используется для моделирования транспортных потоков, транспортного планирования и оптимизации общественного транспорта: в городах, регионах, мегаполисах. *VISUM* интегрирует всех участников движения в единую математическую транспортную модель.

Область применения *VISUM* включает множество сфер, начиная с расчета объемов транспортных потоков и заканчивая оптимизацией работы общественного транспорта, одной из подзадач которой является оптимизация интервалов и расписания движения.

ПО применялось во многих городах России и зарубежья для создания транспортной модели города, изучения ее и оптимизации различных параметров (рисунок 12).

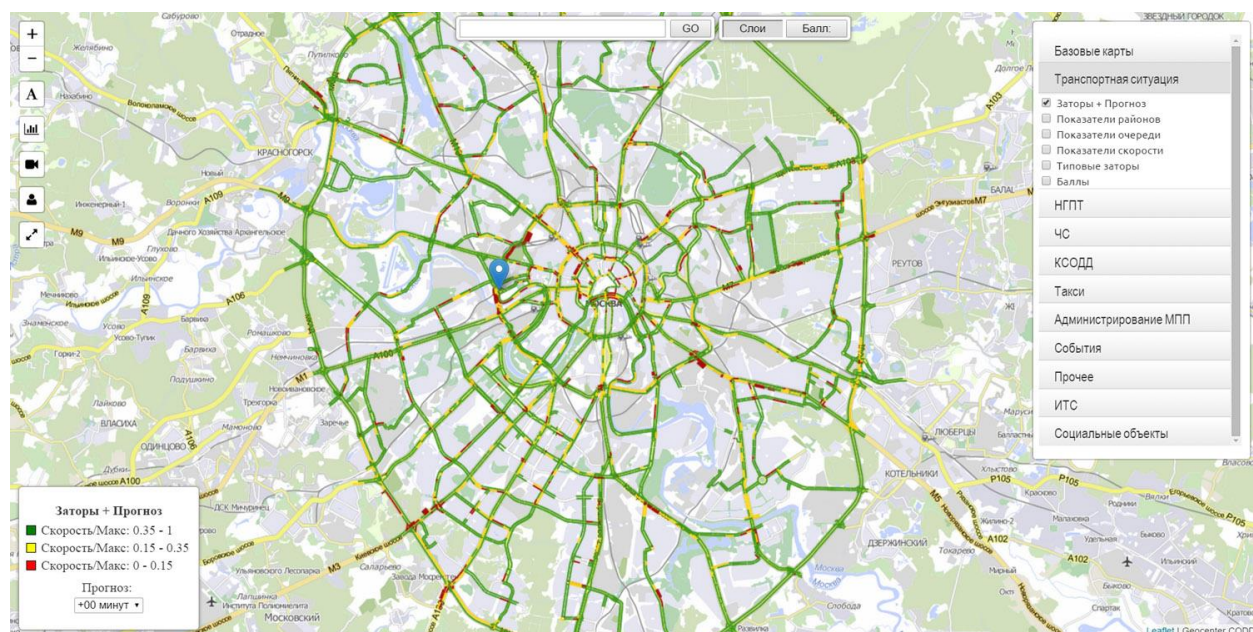


Рисунок 12 - Модель транспортной сети г. Москва с отображением транспортной ситуации в городе

Для управления расписанием требуется отдельный модуль «Управление расписанием ОТ: Календарь + Графический редактор расписания». Модуль позволяет более детально моделировать транспортное предложение и спрос, т.е. смоделировать не только отдельный день, но и комбинацию рабочих дней или

управление отдельными днями. Также обеспечивает графическое отображение данных расписания для интерактивной работы в виде диаграммы время-остановка. Графический редактор позволяет пользователю проверить результаты изменения данных расписания [6].

2 Объекты и методы исследования

Объектом исследования является методика построения расписания движения ГПТ г. Томска. В систему ГПТ г. Томска входит как муниципальный транспорт (трамваи и троллейбусы), так и маршрутные такси. В рамках данной ВКР будут рассматриваться только маршрутные такси.

При пользовании муниципального транспорта взаимодействующими сторонами являются пассажиры как потребители услуги, а также администрация города и муниципальные организации (например, Трамвайно-троллейбусное управление г. Томска) как лица, предоставляющие услугу. Тогда как при пользовании маршрутных такси взаимодействующими сторонами являются пассажиры и частные перевозчики. В интересы администрации в данном случае входит наличие оптимально загруженной транспортной сети, а также обеспечение интервалов движения при наибольшей возможной комфортности пребывания в ТС пассажиров. С точки зрения пассажиров необходимо сократить время ожидания транспортного средства на остановке и время движения по маршруту, при минимальной стоимости проезда. Перевозчикам важно получить максимально возможную прибыль при минимальных издержках.

При проектировании расписания общественного транспорта следует учитывать следующие факторы:

- 1) Количество транспортных единиц на маршруте. Все транспортные единицы, осуществляющие перевозки по автобусным маршрутам, являются однотипными транспортными средствами (ТС) марки ПАЗ, модель 3205 с 25 посадочными местами и общим числом мест – 41 [13].
- 2) Маршрут следования. Маршрут следования представляет собой упорядоченные по географическому признаку остановки согласно перечню, утверждённому постановлением администрацией города [14]. Нарушение порядка обслуживания остановок не представляется возможным.

3) Графики движения. Расписание зависит от различных времён суток и статусов дня. В течение одного дня существуют временные периоды, в течение которых население активнее пользуется общественным транспортом, чем в другие временные промежутки. Такие временные периоды считаются часами-пик. Напротив, существуют периоды времени, в течение которых наблюдается спад спроса. Кроме того, дни могут различаться по статусу, а именно – рабочие, выходные, праздничные.

Для решения проблемы построения расписания движения ГПТ необходимо декомпозировать задачу на несколько подзадач:

- 1) Составление расписания движения 1 ТС на маршруте;
- 2) Составление расписания движения всех ТС на маршруте;
- 3) Мультимаршрутное планирование.

Для составления расписания для 1 ТС применяется метод решения одноприборной задачи теории расписания. Здесь «прибором» называется объект, выполняющий задания. В данном случае имеется один прибор – ТС, для которого задачами являются остановки по маршруту следования. Причем расчет ведется с учетом требований к определенному порядку следования, т.к. автобус не может обслуживать остановки в порядке, отличном от того, который предусмотрен в маршруте. Также расчет ведется с учетом простоев на остановках для осуществления посадки и высадки пассажиров. Более подробно применение метода решения одноприборной задачи описано в [15].

Для составления расписания движения для всех ТС на маршруте используется алгоритм муравьиных колоний. Здесь роль «муравьев» исполняют автобусы, которые, следуя по маршруту, оставляют феромон. В качестве феромона используется количество вошедших и вышедших пассажиров. Применение алгоритма муравьиных колоний для построения расписания движения ГПТ описано в работе [9].

Для составления мультимаршрутного расписания предлагается использовать понятие ключевого участка, которое будет рассмотрено более подробно в следующей части ВКР.

Комбинация вышеуказанных методов является решением поставленной задачи.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

5.1 Организация и планирование работ

В данном разделе приводится полный перечень работ и ассоциированные с каждым этапом исполнители. А также указывается занятость каждого исполнителя и сроки проведения отдельных работ. Результатом планирования работ является линейный график реализации проекта.

Исполнителями данного проекта является инженер – студент, выполняющий ВКР, и его научный руководитель.

Для построения линейного графика требуется определить перечень работ и назначить исполнителей, а также указать, какой процент рабочего времени каждый исполнитель уделяет на выполнение задачи. Перечень работ с соответствующей информацией приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Составление и утверждение технического задания	НР	НР - 100%
Подбор и изучение материалов по теме	НР, И	НР - 100% И - 30%
Исследование предметной области	НР, И	НР - 50% И - 50%
Выбор направления исследований	НР, И	НР - 100% И - 30%
Календарное планирование работ по теме	НР	НР-100%
Анализ имеющегося набора данных	НР, И	НР-30% И - 100%
Разработка математического аппарата	НР, И	НР-20% И - 100%
Проверка математического аппарата на реальных данных	И	И - 100%
Анализ результатов	НР, И	НР - 100% И - 50%
Доработка математического аппарата	НР, И	НР - 60% И - 60%
Разработка алгоритма	И	И - 100%

Выбор варианта реализации	И	И - 100%
Оценка эффективности производства и применения проектируемого программного продукта	И	И - 100%
Разработка руководства пользователя	И	И - 100%
Конструирование и изготовление прототипа	И	И - 100%
Тестирование приложения	НР, И	НР - 50% И - 100%
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	И	И - 100%

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Для расчета продолжительности этапов работ осуществляется опытно-статистическим методом с применением экспертного способа. Определение ожидаемых значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется следующая формула (9):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (9)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях выполняется по формуле 10:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (10)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работы, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей (принимается равным 0,8);

K_D – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ (принимается равным 1).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле 11:

$$T_{KD} = T_{PD} \cdot T_K, \quad (11)$$

где T_{KD} – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях. Рассчитывается по формуле 12:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (12)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни;

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ВД} + T_{ПД} = 66$).

$$T_K = \frac{366}{366 - 66} = 1,22.$$

Используя полученный коэффициент T_K , производится расчет продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям (таблица 2).

Полученная в результате расчетов трудоемкость позволяет построить линейный график выполнения работ в виде диаграммы Ганта (рисунок 13).

Таблица 2 – Трудозатраты на выполнение работ

Этапы	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям, чел. - день			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Составление и утверждение технического задания	НР	1,00	3,00	1,80	2,25	0,00	2,75	0,00
Подбор и изучение технического задания	НР, И	4,00	7,00	5,20	6,50	1,95	7,93	2,38
Исследование предметной области	НР, И	10,00	20,00	14,00	8,75	8,75	10,68	10,68
Выбор направления исследования	НР, И	1,00	3,00	1,80	2,25	0,68	2,75	0,82
Календарное планирование работ по теме	НР	1,00	3,00	1,80	2,25	0,00	2,75	0,00
Анализ имеющегося набора данных	НР, И	3,00	6,00	4,20	1,58	5,25	1,92	6,41
Разработка математического аппарата	НР, И	20,00	40,00	28,00	7,00	35,00	8,54	42,70
Проверка математического аппарата на реальных данных	И	4,00	6,00	4,80	0,00	6,00	0,00	7,32
Анализ результатов	НР, И	1,00	3,00	1,80	2,25	1,13	2,75	1,37
Доработка математического аппарата	НР, И	5,00	8,00	6,20	4,65	4,65	5,67	5,67
Разработка алгоритма	И	1,00	3,00	1,80	0,00	2,25	0,00	2,75

Выбор варианта реализации	И	2,00	4,00	2,80	0,00	3,50	0,00	4,27
Оценка эффективности производства и применения проектируемого программного продукта	И	5,00	7,00	5,80	0,00	7,25	0,00	8,85
Разработка руководства пользователя	И	1,00	3,00	1,80	0,00	2,25	0,00	2,75
Конструирование и изготовление прототипа	И	15,00	25,00	19,00	0,00	23,75	0,00	28,98
ИТОГО:				119,00	40,10	125,15	48,92	152,68

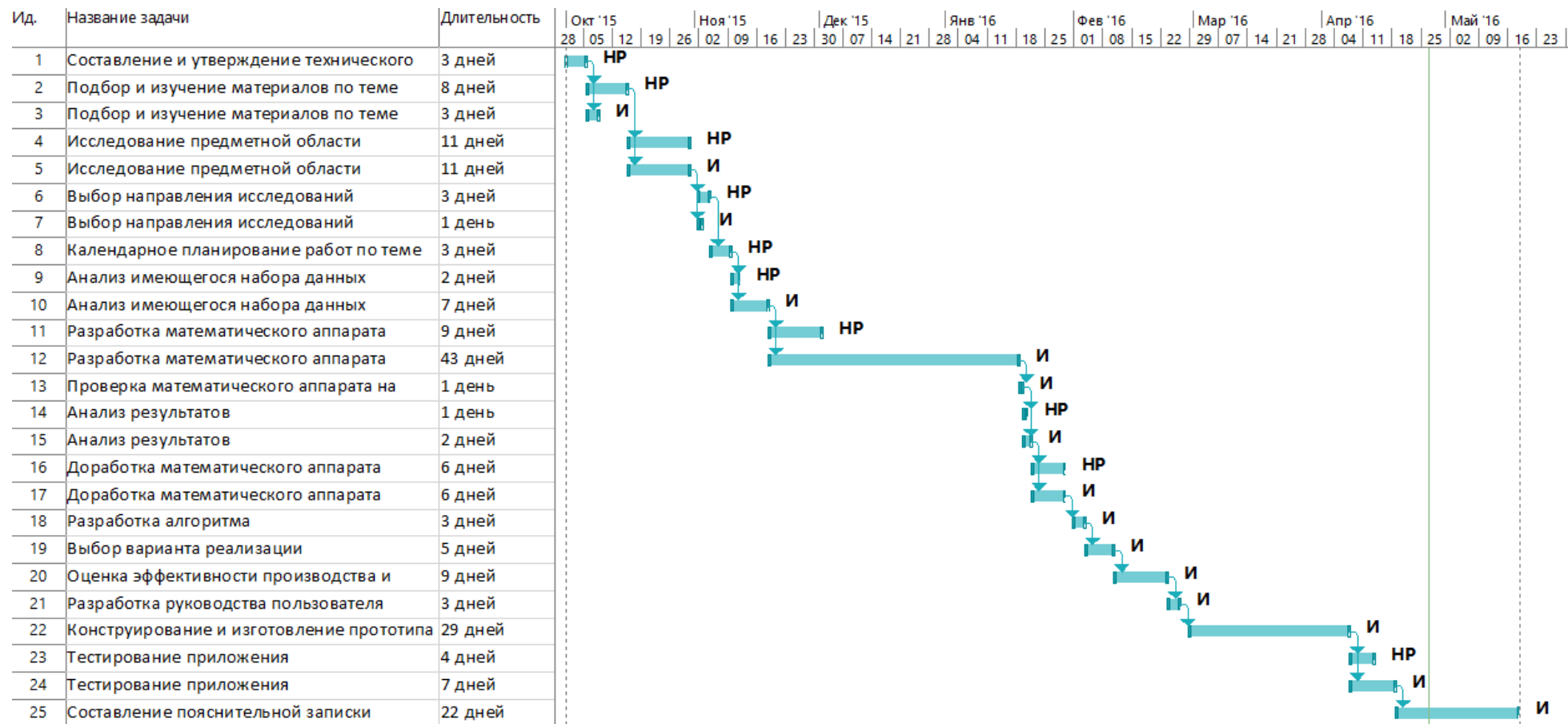


Рисунок 13 – Линейный график работ (диаграмма Ганта)

5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

На данном этапе выполняется расчет текущего состояния работы над проектом. Величина накопления готовности проекта показывает, на сколько процентов по окончании текущего этапа выполнен общий объем работ по проекту.

Степень готовности проекта определяется по формуле 13:

$$CG_i = \frac{TP_j^H}{TP_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}, \quad (13)$$

где $TP_{общ}$ – общая трудоемкость проекта;

TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ - индекс исполнителя, в данном случае $m=2$.

Для расчета используются данные из таблицы 2 (колонка «Т_{рд}») для каждого исполнителя. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Нарастание технической готовности проекта и удельный вес каждого этапа

Этап	ТР _і , %	СГ _і , %
Составление и утверждение технического задания	1,36	1,36
Подбор и изучение материалов по теме	5,11	6,48
Исследование предметной области	10,59	17,07
Выбор направления исследований	1,77	18,84
Календарное планирование работ по теме	1,36	20,20
Анализ имеющегося набора данных	4,13	24,33
Разработка математического аппарата	25,42	49,74

Проверка математического аппарата на реальных данных	3,63	53,37
Анализ результатов	2,04	55,42
Доработка математического аппарата	5,63	61,04
Разработка алгоритма	1,36	62,41
Выбор варианта реализации	2,12	64,52
Оценка эффективности производства и применения проектируемого программного продукта	4,39	68,91
Разработка руководства пользователя	1,36	70,27
Конструирование и изготовление прототипа	14,37	84,64
Тестирование приложения	4,77	89,41
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	10,59	100,00

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В данном разделе производится анализ расходов, необходимых для выполнения проекта. Рассматривается структура расходов, а именно на что требуется потратить денежные средства, чтобы выполнить проект, а также производится расчет затрат.

Расчет сметной стоимости выполнения проекта производится по следующим статьям затрат:

- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);

- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

5.2.1 Расчет заработной платы

В данном разделе выполняется расчет заработной платы участников проекта. В реализации проекта участвуют научный руководитель и инженер, в роли которого выступает исполнитель.

Для расчета заработной платы используется трудоемкость выполнения каждого этапа и величина оклада каждого исполнителя. Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где исполнитель проходил преддипломную практику.

При расчете заработной платы применяется среднедневная тарифная заработная плата, которая вычисляется по следующей формуле (14):

$$ЗП_{\text{дн-м}} = \text{МО} / 25, \quad (14)$$

где МО – месячный оклад

25 – количество рабочих дней в месяце (в 2016 году 366 дней, 300 из которых – рабочие; $300/12 = 25$).

Также при расчете заработной платы следует учитывать районный коэффициент, премии и дополнительные зарплаты. Для учета этих надбавок применяются следующие коэффициенты: $K_P = 1,3$; $K_{ПР} = 1,1$; $K_{\text{допЗП}} = 1,188$.

Расчет заработной платы представлен в таблице 4.

Таблица 4 - Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, Р/мес	Среднедневная ставка, Р/раб.день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/п, Р.
НР	23 264,86	930,5944	41,00	1,70	64818,17
И	7 864,11	314,5644	126,00	1,70	67333,72
ИТОГО:					132151,9

5.2.2 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{соц.} = C_{зп} \cdot 0,3$.

$$\text{Имеем } C_{соц} = 132151,9 \cdot 0,3 = 39645,57 \text{ Р}$$

5.2.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле 15:

$$C_{эл.об.} = P_{об.} \cdot t_{об.} \cdot C_{э}, \quad (15)$$

где $P_{об.}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{э}$ – тариф на 1 кВт·ч;

$t_{об.}$ – время работы оборудования, ч.

Для ТПУ $C_{э} = 5,257 \text{ Р/ кВт·ч}$.

$T_{об.}$ рассчитывается по следующей формуле (16):

$$t_{об.} = T_{рд.} \cdot K_t \cdot 8, \quad (16)$$

где $T_{рд.}$ берется из таблицы 2, $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{рд.}$ (принимается равный 1).

Мощность, потребляемая оборудованием, исчисляется по формуле:

$$P_{об.} = P_{ном.} \cdot K_C, \quad (17)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

$P_{ном.}$ принимается равная 0,09 кВт для ноутбука и 0,4 кВт, т.к. основным оборудованием является ноутбук инженера с потребляемой мощностью 90 Вт и персональный компьютер научного руководителя с потребляемой мощностью 400 Вт.

Таким образом, с учетом вышеуказанных параметров, расчет затрат на электроэнергию приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование	Время работы оборудования $t_{ОБ}$, час	Потребляемая мощность $P_{ОБ}$, кВт	Затраты $\mathcal{E}_{ОБ}$, Р
Ноутбук	1008	0,09	476,92
ПК	328	0,4	689,72
ИТОГО:			1166,64

5.2.4 Расчет амортизационных расходов

Для расчета амортизационных отчислений используется формула 18:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot \mathcal{C}_{ОБ} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D}, \quad (18)$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$\mathcal{C}_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Годовая норма амортизации (H_A) определяется, как величина, обратная величине срока амортизации (C_A). Таким образом, принимая $C_A = 3$ года, получается значение $H_A = 0,33$.

Балансовая стоимость ноутбука $\mathcal{C}_Б$ составляет 26000Р. Балансовая стоимость компьютера научного руководителя составляет 35000Р.

Действительный годовой фонд времени F_D определяется как количество часов в рабочем году, т.е. $300 \cdot 8 = 2400$ (ч.) (для 2016 года).

Фактическое время работы оборудования принимается равное количеству рабочих часов, которое каждый из исполнителей потратил на

выполнение проекта, используя при этом оборудование. Исходя из этого, $t_{PФ}$ принимается равным:

- для научного руководителя: $t_{PФ} = 8 \cdot 41 = 328$ (ч.);
- для исполнителя: $t_{PФ} = 8 \cdot 126 = 1008$ (ч.).

Используя вышеуказанные параметры, рассчитывается амортизация оборудования (таблица 6).

Таблица 6 - Затраты на амортизацию

Исполнитель	n	H_A	$t_{PФ}$, ч.	$Ц_{ОБ}$, Р	F_d , ч.	C_{AM} , Р
НР	1	0,33	328	35000	2400	1578,5
И			1008	26000		3603,6
ИТОГО:						5182,1

5.2.5 Расчет прочих расходов

К данной статье расходов относятся расходы, которые не были учтены в предыдущих статьях. Они принимаются равными 10 % от суммы расходов по всем предыдущим статьям по формуле:

Для данного проекта $C_{ПРОЧ} = 17814,62$ Р.

5.2.6 Расчет общей себестоимости разработки

Общая сведения о себестоимости разработки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, Р.
Основная заработная плата	$C_{ЗП}$	132151,9
Отчисления в социальные фонды	$C_{СОЦ}$	39645,57
Расходы на электроэнергию	$C_{ОБ}$	1166,64
Амортизационные отчисления	C_{AM}	5182,1
Прочие расходы	$C_{ПРОЧ}$	17814,62
Итого		195960,8

5.2.7 Расчет прибыли

Для расчета прибыли было взято 10 % от полной себестоимости проекта. Для данной работы прибыль составляет 19596,08Р.

5.2.8 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. Имеем $\text{НДС} = 0,18 \cdot (19596,08\text{Р} + 195960,8\text{Р}) = 38800,24\text{Р}$.

5.2.9 Оценка разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС. В данном случае: $C_{\text{НИР(КР)}} = 195960,8\text{Р} + 19596,08\text{Р} + 38800,24\text{Р} = 254357,14\text{Р}$.

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

В данном разделе описывается оценка самого актуального аспекта выполняемого в рамках магистерской диссертации проекта – экономической эффективности его реализации. Под экономической эффективностью понимают соотношение экономического эффекта от реализации проекта и затрат на разработку проекта.

Главной целью проекта является разработка программного обеспечения для проектирования расписания движения ГПТ г. Томска. Отсюда следует, что экономический эффект будет наблюдаться, в основном, на транспортной сфере г. Томска.

Далее приведены улучшения, которые может привнести программное обеспечение в существующую систему организации движения ГПТ, а также ожидаемые эффекты от этих улучшений:

- конкретизация расписания движения ГПТ.

При наличии строго определенного расписания движения ГПТ пассажиры смогут тщательно планировать время своего путешествия, сокращая при этом вероятность опоздания, что

приведет не только к экономии времени, но и к недопущению нарушения эмоционального состояния пассажира.

Для перевозчиков наличие четких временных рамок для каждого рейса позволит оптимальным образом планировать работу смен, а также отдых водителей.

- автоматизация процесса составления расписания движения ГПТ.

Используя программное обеспечение для проектирования расписания движения, оператор сокращает время на данную процедуру.

- адаптивность разработки к нуждам организации, занимающейся планированием движения ГПТ.

При добавлении новых маршрутов в городскую транспортную сеть нет необходимости изменять программный код приложения. Требуется только внести соответствующие данные в базу данных приложения, что позволит сэкономить на привлечении разработчиков программного обеспечения в процессе эксплуатации.

Таким образом, можно наблюдать следующий экономический эффект от разработки:

- сокращение количества случаев опоздания на работу работающего населения г. Томска вследствие неудобного расписания движения ГПТ;
- улучшение эффективности планирование рабочих смен водителей транспортных средств;
- сокращение времени эксперта на составление расписания движения ГПТ;
- сокращение затрат на создание новых и корректировку существующих расписаний движения ГПТ.

Вышеуказанные улучшения не поддаются количественному описанию, т.к. это потребовало бы значительных навыков, ресурсов и компетенций,

которые выходят за рамки данной работы. Отсюда следует, что описанный выше эффект может быть представлен исключительно качественно.

5.4 Оценка научно-технического уровня НИР

В данном разделе описывается расчет количественной характеристики влияния разработанного проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса. Для этого используется метод бальных оценок, заключающийся в присвоении определенного количества баллов каждой характеристике научно-исследовательской работы и нахождении взвешенной суммы этих баллов с использованием определенных весовых коэффициентов. На основе выбранных характеристик определяется интегральный показатель научно-технического уровня работы по формуле 19:

$$K_{HTV} = \sum_{i=1}^3 R_i n_i, \quad (19)$$

где K_{HTV} – интегральный индекс научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Для вычисления интегрального показателя используются три признака:

- уровень новизны;
- теоретический уровень;
- возможность реализации.

На основе набора качественных весовых коэффициентов и набора баллов для каждой характеристики была сформирована общая таблица оценки научно-технического уровня работ (таблица 8).

Таблица 8 – Оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Новая	5	Используются существующие

				алгоритмы для создания расписания движения ГПТ, а также предлагаются новые подходы для организации движения.
Теоретический уровень	0,1	Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6	Разработка алгоритма, который позволит применить несколько методов, в том числе и эмпирических.
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	В течение первых 2-х лет планируется завершить разработку и использовать для проектирования расписания движения ГПТ г. Томска.

На основе выбранных показателей, представленных в таблице 8, был произведен расчет научно-технического уровня научно-исследовательских работ $K_{НТУ} = 7,6$.

Исходя из полученной количественной оценки, качественная оценка уровня НИР является высокой.

Список публикаций студента

- 1 Пилецкая, Анастасия Юрьевна. Проектирование расписания движения городского пассажирского транспорта на основе одноприборной задачи теории расписания [Электронный ресурс] / А. Ю. Пилецкая; науч. рук. Е. А. Кочегурова // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых : сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, г. Томск, 22-24 апреля 2015 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск: Изд-во ТПУ, 2015. — [С. 311-314]. — URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C08/087.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.;
- 2 Kochegurova E. A. , Fadeev A. S. , Piletskya A. Y. , Yurchenko M. A. Calculation of performance indicators for passenger transport based on telemetry information // Engineering Technology, Engineering Education and Engineering Management. - London: Taylor & Francis Group, 2015 - p. 847-851 (индексируется в базе Scopus);
- 3 Готовится к публикации: Пилецкая А.Ю., Кочегурова Е.А. Методика проектирования расписания движения общественного транспорта г. Томска // III Международная научная конференция «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине», 23-26 мая 2016, г. Томск.